

Эволюция микро- и нано- доменной структуры и генерация пиколитровых капель жидкости под действием пироэлектрического поля

А.В. Макаев, М.С. Кособоков, Е.А. Мингалиев, Д.К. Кузнецов,
М.С. Небогатилов, В.Я. Шур

*Институт Естественных Наук и Математики, Уральский Федеральный Университет, 620000
Екатеринбург, Россия
e-mail: andrey.makaev@urfu.ru*

Изучение изменений топологии сегнетоэлектрических доменов и разработка методов создания доменных структур с заданными параметрами представляют значительный интерес для развития микро- и нано-доменной инженерии, и инженерии доменных стенок. Кристаллы с регулярной доменной структурой используют для создания преобразователей частоты лазерного излучения с рекордной эффективностью.

Известно, что квазирегулярные доменные структуры могут быть получены при неравновесном переключении поляризации, вызванном запаздыванием экранирования деполяризующего поля, что приводит к эффекту коррелированного зародышеобразования. Такие условия могут быть получены при импульсном облучении лазером. Ранее было показано, что облучение монодоменной пластины одиночным импульсом инфракрасного (ИК) лазера приводит к формированию Y-ориентированных лучей субмикронной ширины и глубиной до 200 мкм. *In situ* визуализация показала, что зарождение и рост доменов происходят под действием пироэлектрического поля при охлаждении кристалла после прекращения лазерного импульса. Однако, эволюция доменной структуры в результате многократного импульсного облучения до конца не изучена.

В работе исследовалось формирование доменных структур при многократном импульсном лазерном облучении пластин одноосного сегнетоэлектрика конгруэнтного ниобата лития (CLN) конгруэнтного состава толщиной 0,5 мм, вырезанных перпендикулярно полярной оси.

1. Обнаружен эффект превращения полосового домена в массив изолированных доменов в результате облучения ИК-лазером двумя импульсами. Полученный эффект объяснен кинетикой доменов под действием двух импульсов пироэлектрического поля с изменением направления поля. Прямое переключение при охлаждении после окончания первого лазерного импульса приводит к образованию гребенчатых доменов с плоскими стенками на поверхности и заряженными доменными стенками в объеме. Предложен механизм формирования гребенчатых доменов за счет образования зубцов на заряженной доменной стенке, когда ее наклон превышает пороговое значение. Обратное переключение во время нагрева вторым лазерным импульсом приводит к формированию квазирегулярного массива изолированных конических доменов. Таким образом, в результате разделения гребенчатых доменов происходит изменение размерности формы доменов на поверхности из 1D в 2D. Моделирование пространственного распределения пироэлектрического поля при нагреве и охлаждении образца с учетом измеренных температурных зависимостей пороговых полей позволило объяснить образование несквозных доменов и изменение их формы. Необходимо отметить, что впервые обнаруженный в сегнетоэлектриках эффект изменения размерности формы из 1D в 2D аналогичен известному эффекту формирования магнитных цилиндрических доменов [1].

2. Исследовано формирование доменной структуры при многократном импульсном лазерном ИК-облучении в пластинах CLN. Показано, что доменная структура существенно изменяется при увеличении количества лазерных импульсов. Выявлено четыре стадии эволюции доменной структуры: 1) формирование полосового домена после первого импульса, 2) расширение домена за счет бокового движения доменной стенки, 3) образование нанодоменных пальцев на доменных стенках (fingering) и 4) формирование лабиринтовой структуры. Показано, что повышение начальной температуры приводит к

уменьшению доли переключенной площади и плотности доменных стенок. Этот факт обусловлен уменьшением пьезоэлектрического поля из-за температурной зависимости ионной проводимости. Следует отметить, что стабильные микро- и нано-доменные структуры, полученные под действием пьезоэлектрического поля, представляют интерес для доменной инженерии [2-4].

3. Разработана оригинальная модификация электрогидродинамического метода генерации фемтолитровых капель проводящих и диэлектрических жидкостей при воздействии пьезоэлектрического поля, создаваемого при однородном нагреве пластины танталата лития. Проведен расчёт оптимальной геометрии доменной структуры для реализации эффекта фокусировки при генерации капель. Показана возможность получения структур наночастиц и выращивания водорастворимых микрокристаллов метастабильных фаз из капель водных растворов [5, 6].

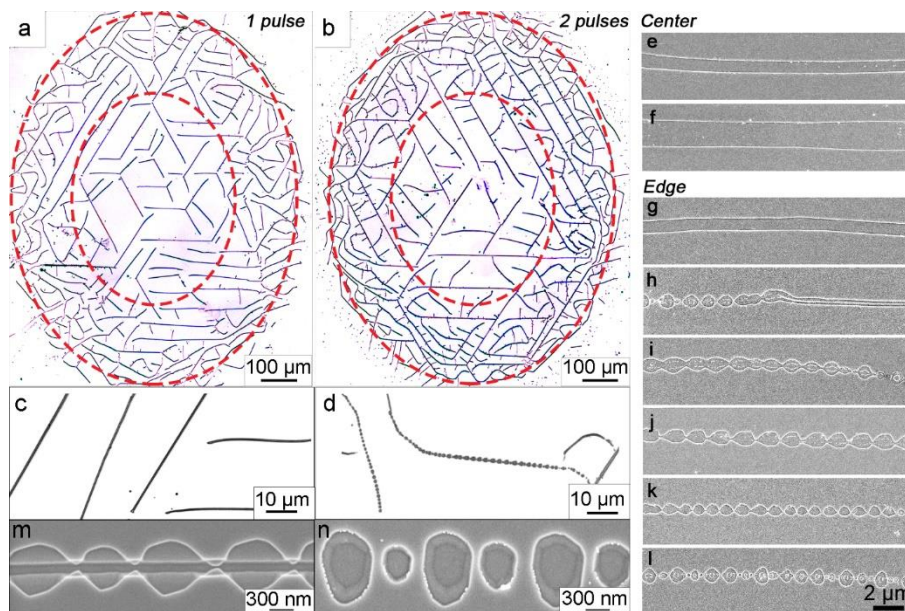


Рисунок 1. Оптические изображения доменных структур: (а, с) после одного импульса и (b, d) после двух импульсов; (а, b) общий вид облучаемой зоны, (с, d) увеличенные фрагменты краевых областей. СЭМ-изображения доменных структур, выявленных при однократном травлении: в центральной области: (е) после одного и (f) двух импульсов; в краевой области: (g) после одного импульса, после двух импульсов: (h) образование нового полосового домена в конце цепи доменов, (i, j) полосовые домены с волнистыми стенками, цепи изолированных доменов: (k) одинаковых и (l) чередующихся размеров. Домены, выявленные двукратным травлением: (m) после первого и второго импульсов, (n) после второго и третьего импульсов. Длительность импульса 3 мс. Плотность энергии 30 Вт/мм².

В работе использовалось оборудование Уральского центра коллективного пользования «Современные нанотехнологии». Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта 19-12-00210.

1. V.Ya. Shur, et al., *Acta Materialia*, in press (2021).
2. V.Ya. Shur, et al., *J. Appl. Phys.* **127**, 094103 (2020)
3. M.S. Kosobokov, et al., *Ferroelectrics* **541**, 61 (2019).
4. V.Ya. Shur, et al., *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **699**, 012052 (2019).
5. E.A. Mingaliev, et al., *Ferroelectrics* **476**, 156 (2015).
6. V.Ya. Shur, et al., *Ferroelectrics* **508**, 58 (2017).